



MODEL PERHITUNGAN IMPLIKASI JEJAK KARBON INDUSTRI PELAYARAN

STUDI KASUS: JALUR PELAYARAN SELAT MADURA



Oleh:
Danang Ristu Nugroho
Nrp.4107100104

Dosen Pembimbing
Dr. Ing. Setyo Nugroho



PENDAHULUAN

Pencemaran udara



Alur terjadinya perubahan iklim (*sumber : DNPI*)



PENDAHULUAN

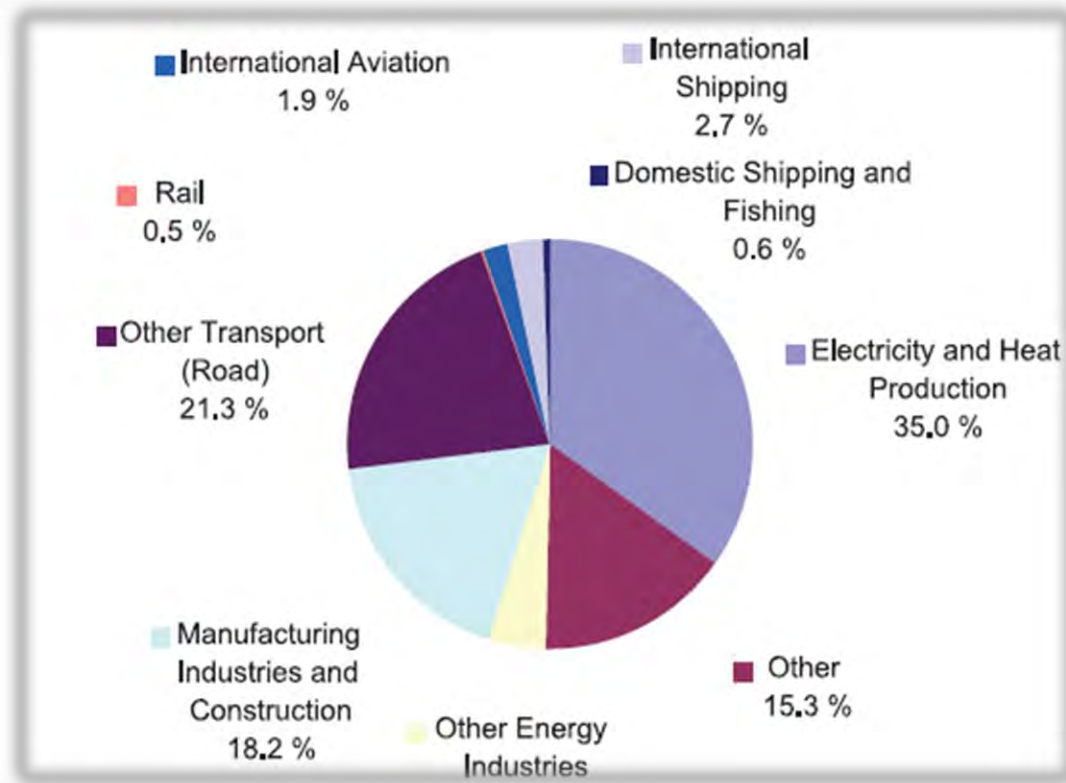
- Dalam Kyoto Protocol, 1997, terdapat 6 jenis gas efek rumah kaca diantaranya:

Jenis	Potensi Pemanasan Global (GWP)
Karbon dioksida (CO ₂)	1
Metana (CH ₄)	21
Nitrat oksida (N ₂ O)	310
Perfluorokarbon (PFCs)	6.500 – 9.200
Hidrofluorokarbon (HFCs)	140 – 11.700
Sulfur heksafluorida (SF ₆)	23.900



LATAR BELAKANG

Kontribusi emisi karbon dari berbagai sektor



Sumber: "Second IMO GHG Study 2009", International Maritime Organization



LATAR BELAKANG

- Laju peningkatan jumlah emisi dari industri pelayaran tahun 2000-2007



2050



150%-300%



LATAR BELAKANG



Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)

Jalur pelayaran yang ramai

Pelabuhan utama di Indonesia

Penghubung kegiatan logistik
Indonesia timur



TUJUAN DAN BATASAN

Tujuan:

- Menentukan metode perhitungan pencemaran karbondioksida dari aktivitas pelayaran di Selat Madura
- Menghitung tren pencemaran karbondioksida dari aktivitas pelayaran di Selat Madura
- Mengidentifikasi implikasi yang terjadi dari pencemaran karbondioksida dari aktivitas pelayaran di Selat Madura serta opsi reduksinya

Batasan masalah:

- Perhitungan hanya dilakukan pada karbondioksida (CO₂)
- Perhitungan pencemaran karbondioksida berdasarkan pada data pergerakan kapal



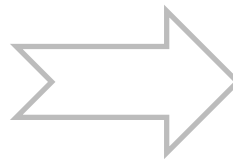
IMO GHG STUDY

Perhitungan Bahan Bakar

1. Berdasarkan data kegiatan (*Activity-based calculation*)



2. Berdasarkan statistik bahan bakar (*fuel statistics-based calculation*)



Konsumsi bahan bakar



IMO GHG STUDY

Data *SFOC* (*Specific Fuel Oil Consumption* -> g/kWh)

– Untuk *main engine*

Engine age	Above 15,000 kW	15,000–5,000 kW	Below 5,000 kW
before 1983	205	215	225
1984–2000	185	195	205
2001–2007	175	185	195

– Untuk *aux engine*

Engine age	Above 800 kW	Below 800 kW
Any	220	230



IMO GHG STUDY

Faktor Emisi Karbondioksida :

Heavy Fuel Oil (HFO):	3.114 t per t oil
Light Fuel Oil (LFO):	3.151 t per t oil
Diesel Oil/Gas Oil (DO/GO):	3.206 t per t oil
Liquefied Natural Gas (LNG):	2.750 t/t gas
Liquefied Petroleum Gas (LPG):	3.000 t/t Propane and 3.003 t/t Butane

Automatic Identification System (AIS)

Data yang didapat dari AIS :

- Data kapal yang ada di area *AIS Coverage* meliputi : No. IMO, DWT, GT, Jenis Kapal, dll
- Kecepatan, Posisi dan Perkiraan waktu kedatangan kapal
- Class A pelaporan data setiap 10 detik
- Class B pelaporan data setiap 30 detik



IMO GHG STUDY

Alur perhitungan emisi karbondioksida :

- PERHITUNGAN WAKTU TEMPUH

$$t \text{ (h)} = s \text{ (nm)} / v \text{ (knot)}$$

- PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR

$$FC \text{ (gram)} = BHP \text{ (kW)} \times SFOC \text{ (g/kWh)} \times t \text{ (h)}$$

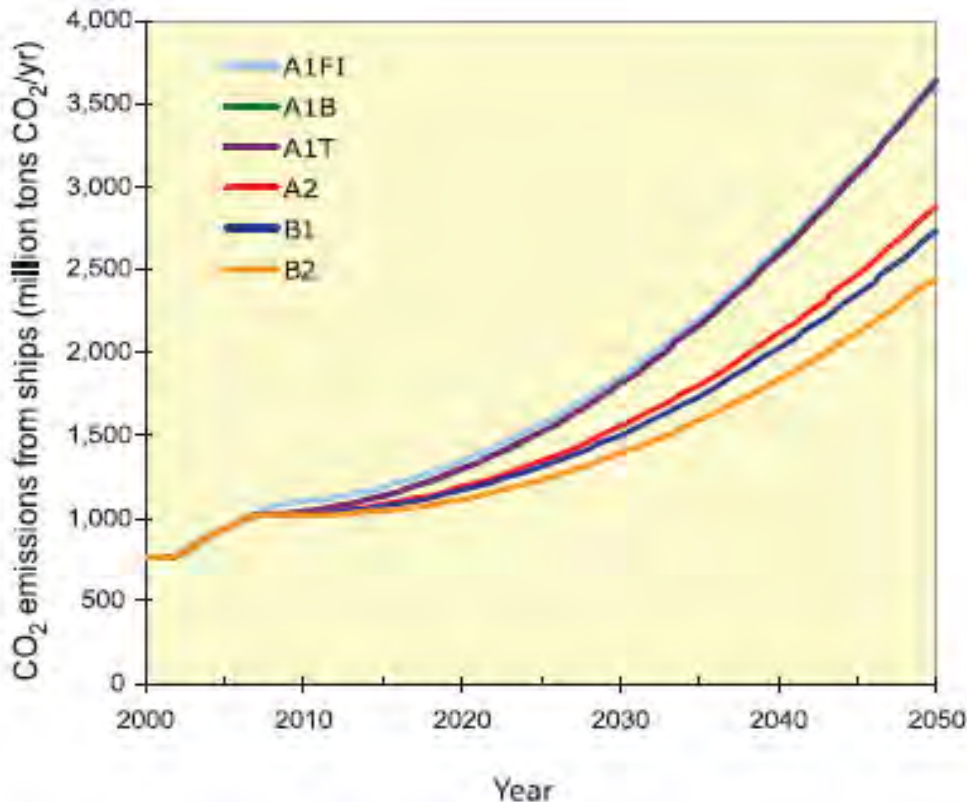
- PERHITUNGAN EMISI KARBONDIOKSIDA

$$CO_2 \text{ emission (ton)} = (FC \times EF) / 10^6$$



IMO GHG STUDY

- Hasil penelitian *IMO GHG Study*



A1 : Pertumbuhan ekonomi, mengabaikan kualitas lingkungan

- A1FI (fossil-intensive),
- A1T (technologically advanced and predominantly non-fossil)
- A1B(balanced across energy sources)

A2 : Dunia lebih heterogen

B1 : Pertumbuhan ekonomi disertai pengembangan kualitas lingkungan

B2 : Pertumbuhan ekonomi intermediet



PASAR KARBON

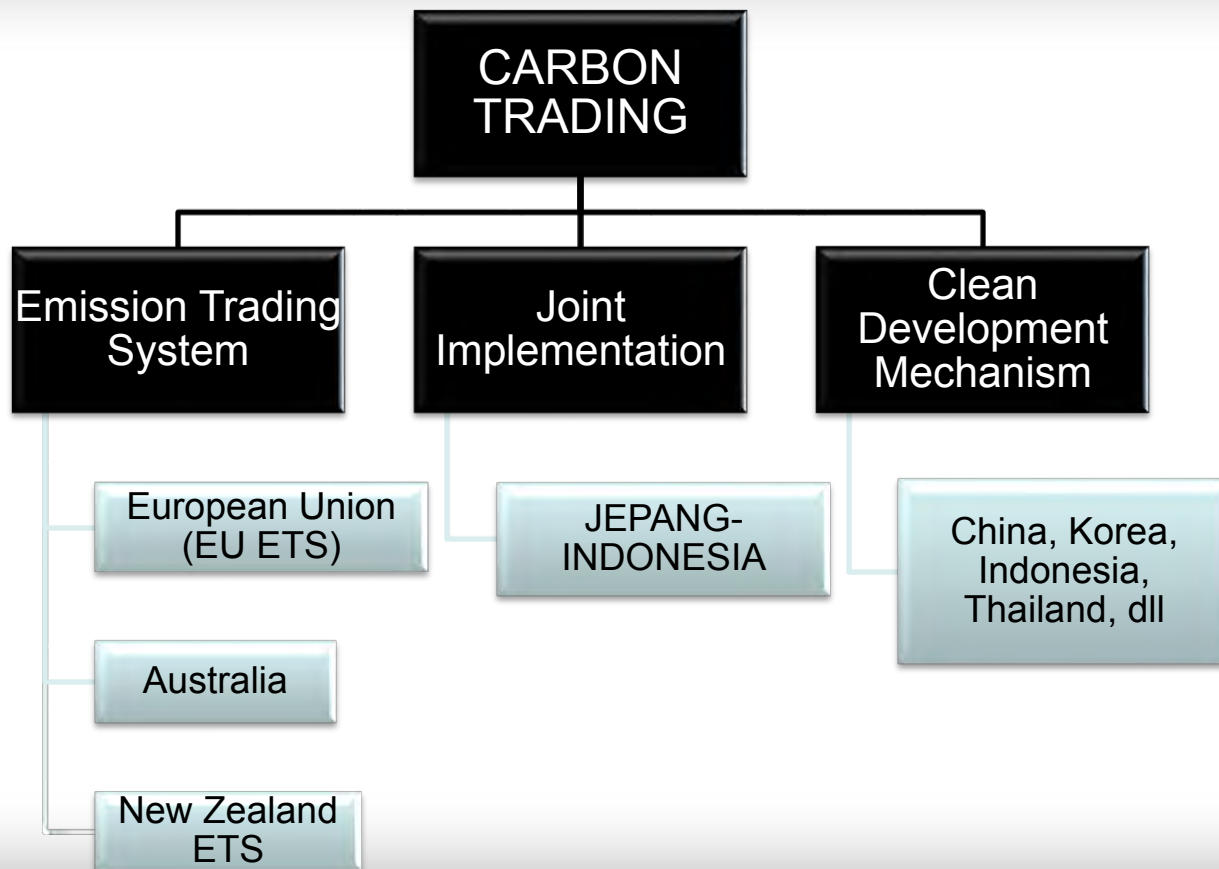
Jenis Pasar Karbon





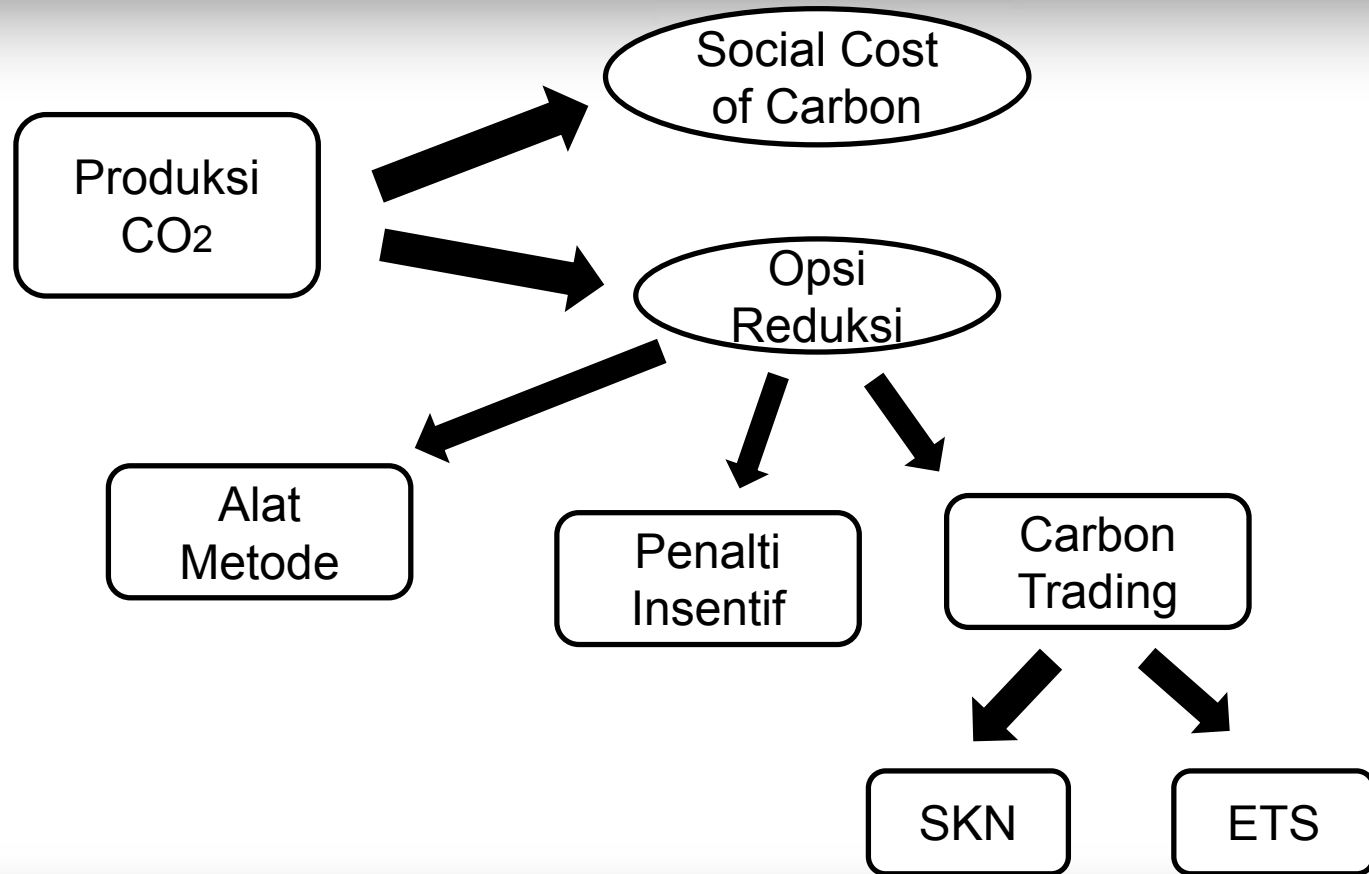
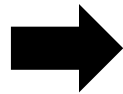
PASAR KARBON

Mekanisme pasar karbon





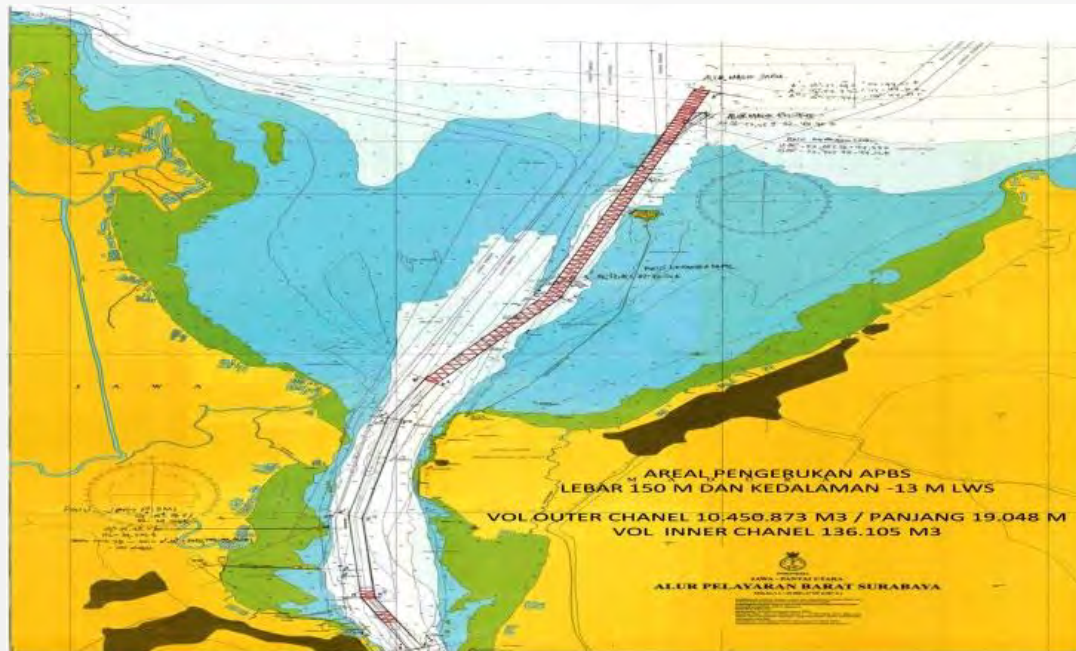
METODOLOGI





DESKRIPSI AREA PENELITIAN

PELABUHAN TANJUNG PERAK



- Secara geografis terletak pada 1120 32' 22" BT dan 070 11'54" LS. Perannya sangat strategis dalam kolektor dan distributor muatan di Kawasan Indonesia Timur.



DATA KUNJUNGAN KAPAL

Grafik Data Kunjungan Kapal



Tabel Kunjungan kapal berdasarkan jenis kapal,

Jenis Kapal	Jumlah /tahun					Rata2
	2009	2010	2011	2012	2013	
Kapal Petikemas	4.887	4.645	4.749	4.925	4.829	4.807
Kapal Kargo Non Petikemas	2.591	2.263	3.035	3.361	3.018	2.854
Kapal Penumpang	1.346	1.396	1.095	1.419	1.552	1.362
Kapal Tanker	2.341	2.367	1.809	1.381	1.453	1.870
Kapal Lain	3.909	3.527	3.429	3.687	3.346	3.580
Total	15.074	14.198	14.117	14.773	14.198	14.472



DATA AIS

Pergerakan kapal dari tampilan AIS Stasiun Radio Pantai Surabaya VTS (Vessel Traffic System)



Source: Distrik Navigasi Pelabuhan Kelas I Tanjung Perak
Sumber lain didapat dari , www.fleetmon.com

Track Details - MERATUS SUMBAWA 1

Name:MERATUS SUMBAWA 1

Call Sign:YEHH

MMSI:525025004

IMO:8712207

ID:548407

Overview

Details

Notes

Picture

Property

Value

Dynamic

Speed4.3 kts

Course109.1°

HeadingN/A

Navigation StatusAt anchor

Number Of Sources1

Grid4211B

Position07°11.736'S 112°42.927E

Position Accuracy100

Quality100

StatusFirm

Rate Of TurnN/A

Time Of Last Update14:05:20

Voyage

Vessel

Country

Dimension

Ship TypeCargo

Ship CategoryAIS - Class A

Ship Category Type70

Ship Draught5.1m

AIS

PTMS

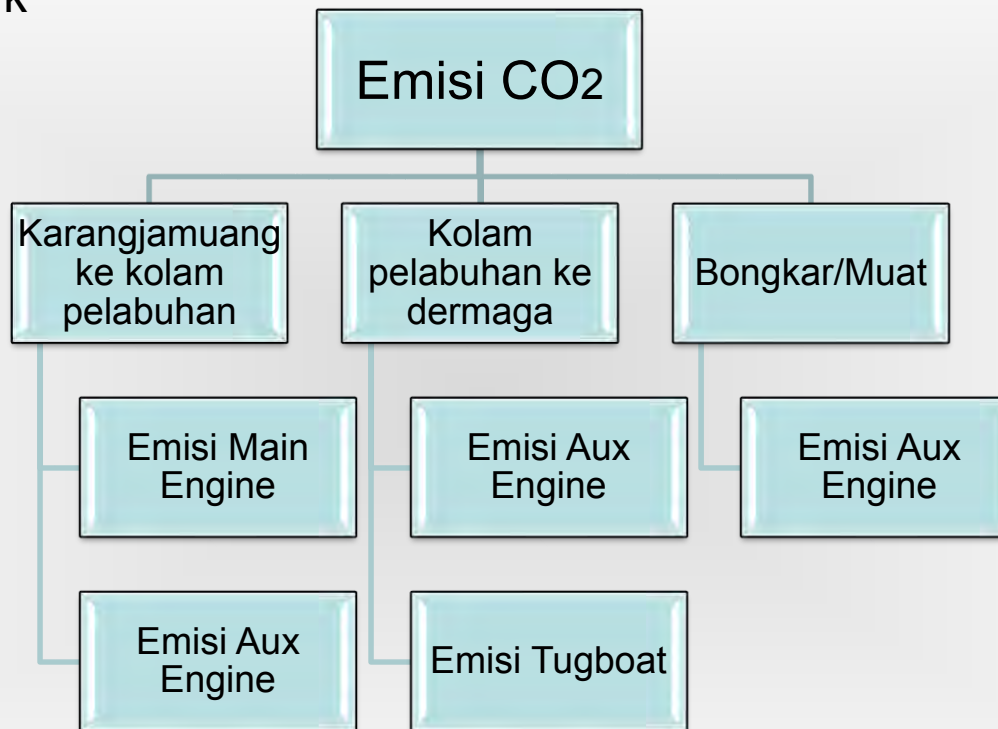
Centre View

Infotlink



SKEMA PERHITUNGAN

- ❑ Alur Perhitungan Emisi CO₂ di Jalur Pelayaran Selat Madura Kapal Masuk



- ❑ Perhitungan **Total Emisi CO₂ = 2 x Emisi Kapal Masuk**



PERHITUNGAN SAMPEL

Menentukan Sampel

Rumus Slovin :

n=sampel

N=populasi

e=tingkat kesalahan, misal 10%

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

Dari Jumlah Kunjungan Kapal Rata-rata 2009-2013

- nilai N= 14.472, e=10% maka didapat n=100
- Proporsi sampel yang didapat :
 - Kapal Petikemas = 33 unit,
 - Kapal Kargo non petikemas = 20 unit,
 - Kapal Penumpang = 9 unit,
 - Kapal Tanker = 13 unit,
 - Kapal lain = 25 unit



PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR



Nama Kapal : Mentaya River
Jenis Kapal : Peti Kemas
Nomor IMO : 7928237
Kecepatan Aktual : 4,6 Knot
DWT : 5.313
GT : 4.152
Kecepatan Dinas : 12,5 Knot

MAIN ENGINE									
Jumlah	Cycle	Silinder	Type	Rpm	BHP	P service(kW)	SFC(g/kwh)	year	Merk/Serie
1	4	9	diesel	600	3670	2737,82	225	1981	MAK

AUXILLIARY ENGINE					
Jumlah	BHP	Power (kW)	SFC(g/kwh)	year	Merk/Serie
3	385	287,21	230	1981	MAN



PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR

Karangjauang-Kolam

Total Jarak(nm)	Waktu tempuh(h)	Kecepatan aktual(knot)	Emisi Main Engine			Emisi Aux engine		
			Daya aktual (kW)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Jumlah Emisi(ton)	Power aktual (kW)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Jumlah Emisi(ton)
19	4,13043478	4,6	136,4420851	0,126802155	0,40652771	2,029310976	0,003855691	0,012361345

Kolam-Dermaga

Total Jarak(nm)	Waktu tempuh(h)	Kecepatan aktual(knot)	Emisi Aux engine			Emisi dari tugboat					
			Power aktual (kW)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Jumlah Emisi(ton)	Jumlah Tugboat	Power (kW)	Power Aktual(kW)	SFC	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Jumlah Emisi(ton)
1,5	0,75	2	1,17641216	0,000405862	0,001301194	2	1492	11,936	195	0,00349128	0,011193044

Bongkar

Panjang Kapal	TEU	Kecepatan Crane (box/jam)	Jumlah Crane	Waktu B/M	Emisi Aux engine		
					Power aktual (kW)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Jumlah Emisi(ton)
101	332	20	2	8,301567306	28,721	0,054838742	0,175813008



PERHITUNGAN EMISI KARBONDIOKSIDA

Karangjamuang-Kolam		Kolam-Dermaga		Bongkar Muat	Total Emisi (ton)
Emisi Main Engine	Emisi Aux engine	Emisi Aux engine	Emisi dari tugboat	Emisi Aux engine	
0,40652771	0,012361345	0,001301194	0,011193044	0,175813008	0,6071963

Perhitungan untuk kapal keluar dari tanjung perak diasumsikan tidak jauh berbeda dengan saat kapal masuk sehingga total emisi CO₂ = (2 x total emisi kapal masuk)

KAPAL MENTAYA RIVER

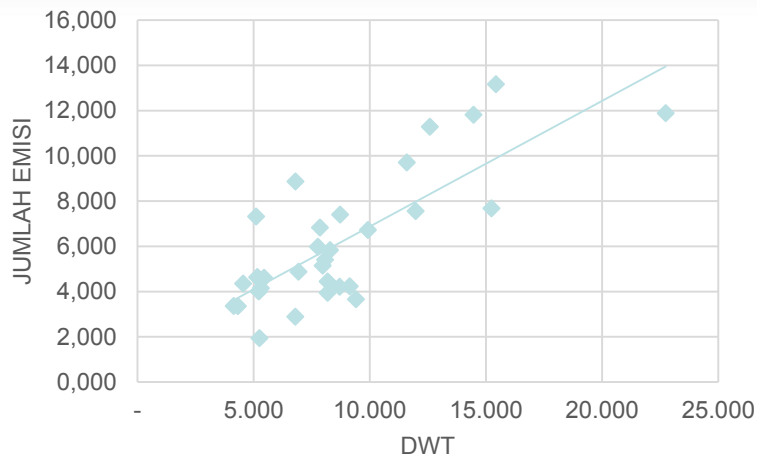
TOTAL EMISI CO₂ = 2 x (0,6071963) = 1,214392601 ton



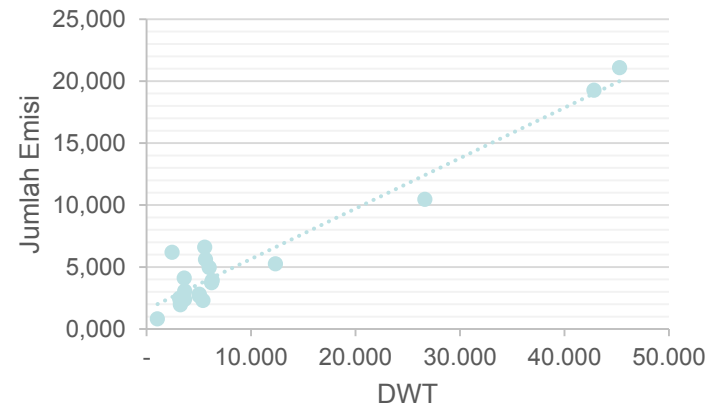
HUBUNGAN ANTAR VARIABEL

HUBUNGAN DWT DENGAN JUMLAH EMISI (Ton) CO₂

KAPAL PETIKEMAS



KAPAL KARGO NON PETIKEMAS



Tabel Hubungan DWT dengan Jumlah Emisi untuk masing-masing kategori kapal

Jenis Kapal	Fungsi	Variance (R ²)
Kapal Petikemas	$y = 0,0002x - 0,4113$	0,65
Kapal Kargo non Petikemas	$y = 0,0003x - 0,5706$	0,95
Kapal Tanker	$y = 0,0007x - 2,6792$	0,82
Kapal Penumpang	$y = 0,0003x + 0,5935$	0,39
Kapal Lain	$y = 0,0004x + 0,3566$	0,27



HUBUNGAN ANTAR VARIABEL

- Contoh analisis ukuran kapal terhadap jumlah emisi karbon dioksida
- Kapal Peti kemas 10.000 DWT

Persamaan DWT dengan Jumlah Emisi : $y = 0,0002x - 0,4113$

Skenario 1(Penggunaan satu kapal 10.000 DWT)	
Jumlah Emisi 1 Kapal 10.000 DWT	1,5887 ton
Skenario 2 (Penggunaan dua kapal 5.000 DWT)	
1 kapal 5000 DWT	0,5887 ton
Jumlah DWT 2 kapal 5000 DWT	1,1774 ton
Skenario 3 (Penggunaan empat kapal 2.500 DWT)	
1 Kapal 2500 DWT	0,0887 ton
Jumlah Emisi 4 kapal 2500 DWT	0,3548 ton



HUBUNGAN ANTAR VARIABEL

- Contoh analisis pengaruh kecepatan terhadap jumlah emisi karbon dioksida

Kapal General Cargo

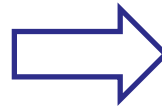
- Persamaan kecepatan aktual dengan Jumlah Emisi *Main Engine* untuk kapal general cargo:

$$y = 0,835x^3 - 12,542x^2 + 62,505x - 102,77$$

Skenario 1 : Kecepatan aktual 6 knot

Skenario 2 : Kecepatan aktual 7 knot

Skenario 3: Kecepatan aktual 8 knot



Skenario 1		
jumlah emisi :	1,108	ton
Skenario 2		
jumlah emisi :	6,612	ton
Skenario 3		
jumlah emisi :	22,102	ton

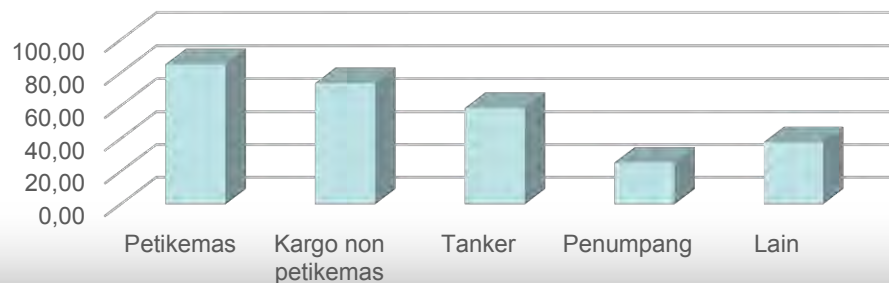


PERHITUNGAN JUMLAH EMISI KARBONDIOKSIDA

Berikut ini adalah Jumlah Emisi CO2 berdasarkan jenis kapal

Jenis Kapal	Jumlah Kapal Sampel(unit)	Total Emisi CO2 (ton)	Emisi CO2 (ton)/ kapal
Petikemas	33	85,15	2,58
Kargo non petikemas	20	73,74	3,69
Tanker	13	58,67	4,51
Penumpang	9	25,41	2,82
Lain	25	37,87	1,51
TOTAL	100	280,84	

Kontribusi Emisi CO2 Per Tahun
di Jalur Pelayaran Selat Madura



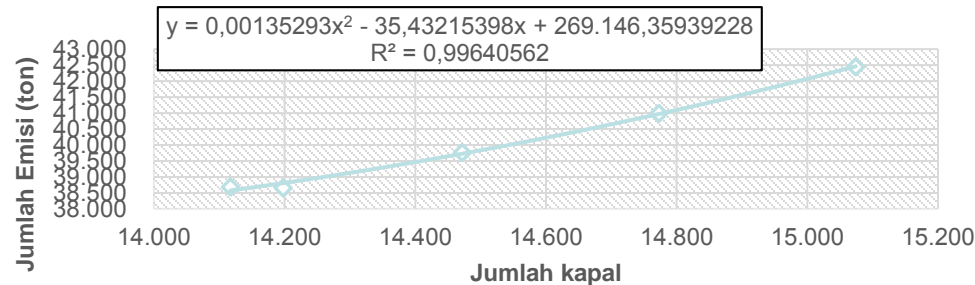


PERHITUNGAN TREN EMISI KARBONDIOKSIDA

Dari Perhitungan sampel yang telah dilakukan maka dilakukan perhitungan kembali Total emisi karbondioksida yang sebenarnya,

Jenis Kapal	2009		2010		2011		2012		2013	
	Unit	Emisi CO2	Unit	Emisi CO2	Unit	Emisi CO2	Unit	Emisi CO2	Unit	Emisi CO2
Kapal Petikemas	4.887	12.610	4.645	11.986	4.749	12.254	4.925	12.708	4.829	12.460
Kapal Kargo Non Petikemas	2.591	9.554	2.263	8.344	3.035	11.191	3.361	12.393	3.018	11.128
Kapal Tanker	2.341	10.566	1.396	6.300	1.095	4.942	1.419	6.404	1.552	7.005
Kapal Penumpang	1.346	3.800	2.367	6.682	1.809	5.107	1.381	3.899	1.453	4.102
Kapal Lain	3.909	5.921	3.527	5.342	3.429	5.194	3.687	5.585	3.346	5.068
Total	15.074	42.450	14.198	38.655	14.117	38.688	14.773	40.989	14.198	39.763

Kontribusi Jumlah kunjungan kapal terhadap jumlah emisi karbondioksida

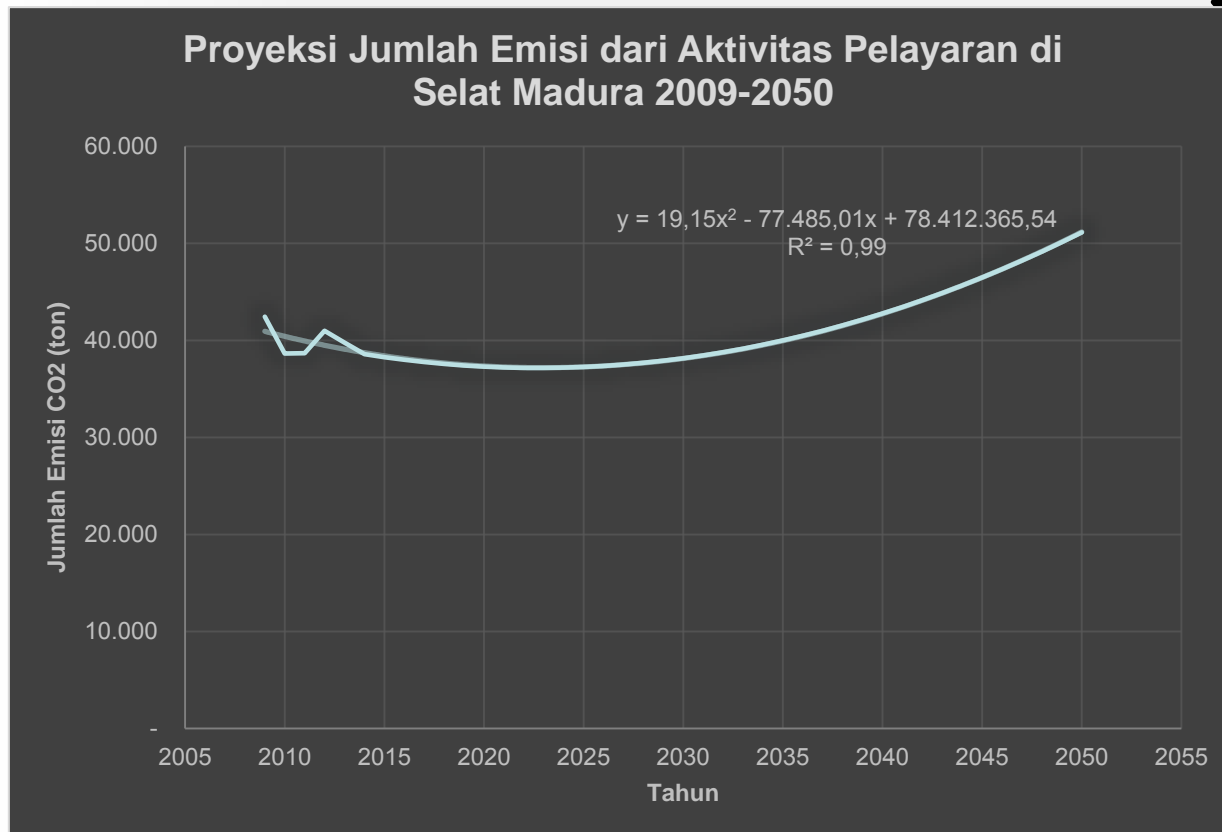




PERHITUNGAN TREN EMISI KARBONDIOKSIDA

PROYEKSI EMISI CO₂ TAHUN 2009-2050

Dari persamaan yang didapat pada grafik sebelumnya, maka dilakukan peramalan sehingga didapat hasil sebagai berikut :



Jumlah peningkatan pencemaran CO₂ dari kegiatan pelayaran di Selat Madura 2009-2050 = **8.677** ton meningkat **20,4 %**.



IMPLIKASI EMISI KARBONDIOKSIDA

- Biaya Konsumsi Bahan Bakar Rata-Rata Per Kapal (roundtrip krg.jamuang-Tjg.Perak-B/M) Asumsi harga Diesel Oil = Rp 6.500 ,-

Jenis Kapal	Rata-rata Konsumsi BBM (liter)	Biaya Konsumsi BBM
Kapal Petikemas	473	Rp3.077.353
Kapal Kargo non Petikemas	677	Rp4.397.470
Kapal Tanker	1.025	Rp6.661.795
Kapal Penumpang	518	Rp3.366.915
Kapal Lain	278	Rp1.806.414

- Social Cost of Carbon (SCC)

Berdasarkan *Interagency Working Group (IWG) on Social Cost of Carbon, United States Government*

SCC ->

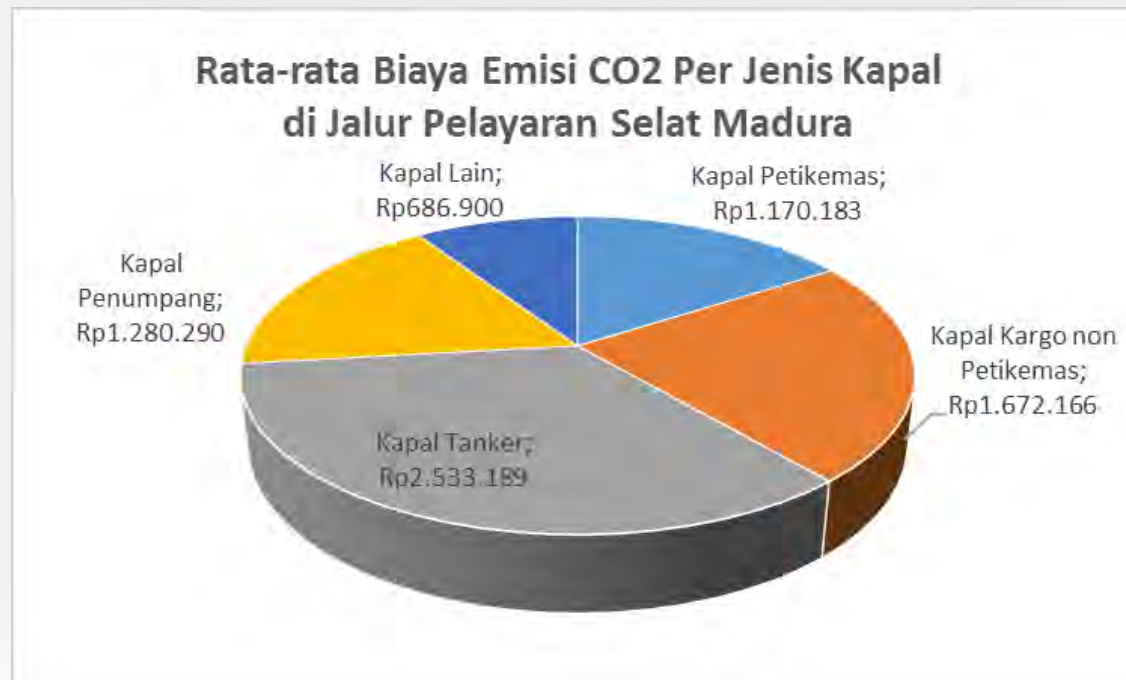
Biaya ekonomi yang harus ditanggung atas emisi satu ton
karbondioksida

Units = \$ / metric ton CO₂



IMPLIKASI EMISI KARBONDIOKSIDA

- Dari data *IWG* tersebut besarnya *SCC* menurut kondisi saat ini = 40\$/mtCO₂
- Besarnya rata-rata biaya emisi CO₂ per jenis kapal (roundtrip krg.jamuang-Tjg.Perak-B/M)





IMPLIKASI EMISI KARBONDIOKSIDA

- Perbandingan biaya BBM dengan biaya emisi CO₂

Kapal Petikemas

Biaya BBM = Rp 3.077.353,-

Biaya Emisi (SCC) CO₂ = Rp 1.170.183,-

- Besarnya rata-rata biaya emisi CO₂ per jam per jenis kapal (roundtrip krg.jamuang-Tjg.Perak-B/M)

Jenis Kapal	Rata-rata waktu operasional (jam)	Biaya Emisi CO ₂ per jam
Kapal Petikemas	39,53	Rp29.599
Kapal Kargo non Petikemas	30,78	Rp54.335
Kapal Tanker	71,36	Rp35.498
Kapal Penumpang	11,69	Rp109.536
Kapal Lain	18,21	Rp37.723



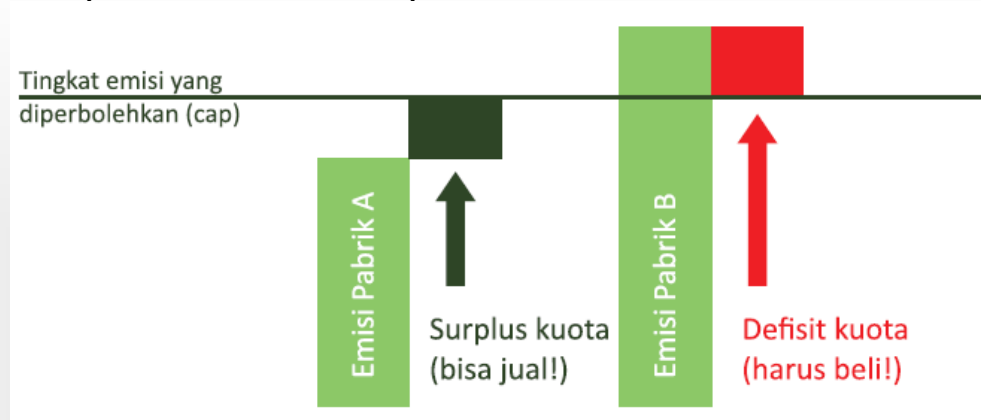
OPSI REDUKSI EMISI KARBONDIOKSIDA



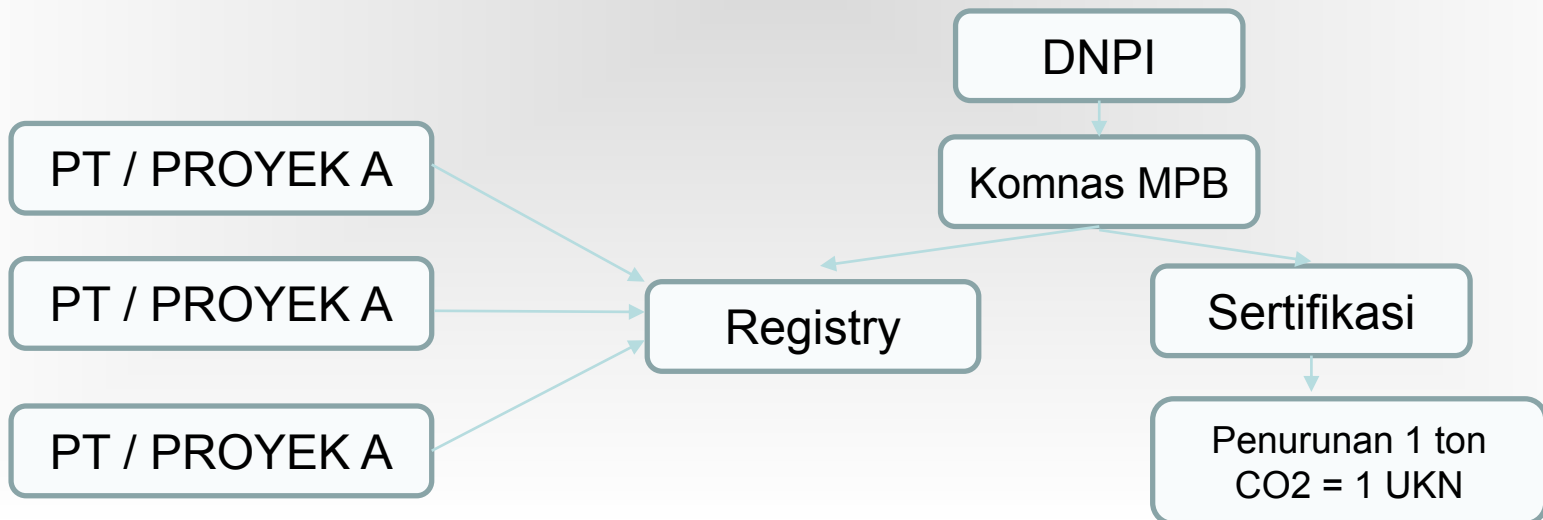


SKEMA PASAR KARBON

- CARBON TRADING (Based on ETS)



- SKEMA KARBON NUSANTARA (Based on CDM)





CSNOx System



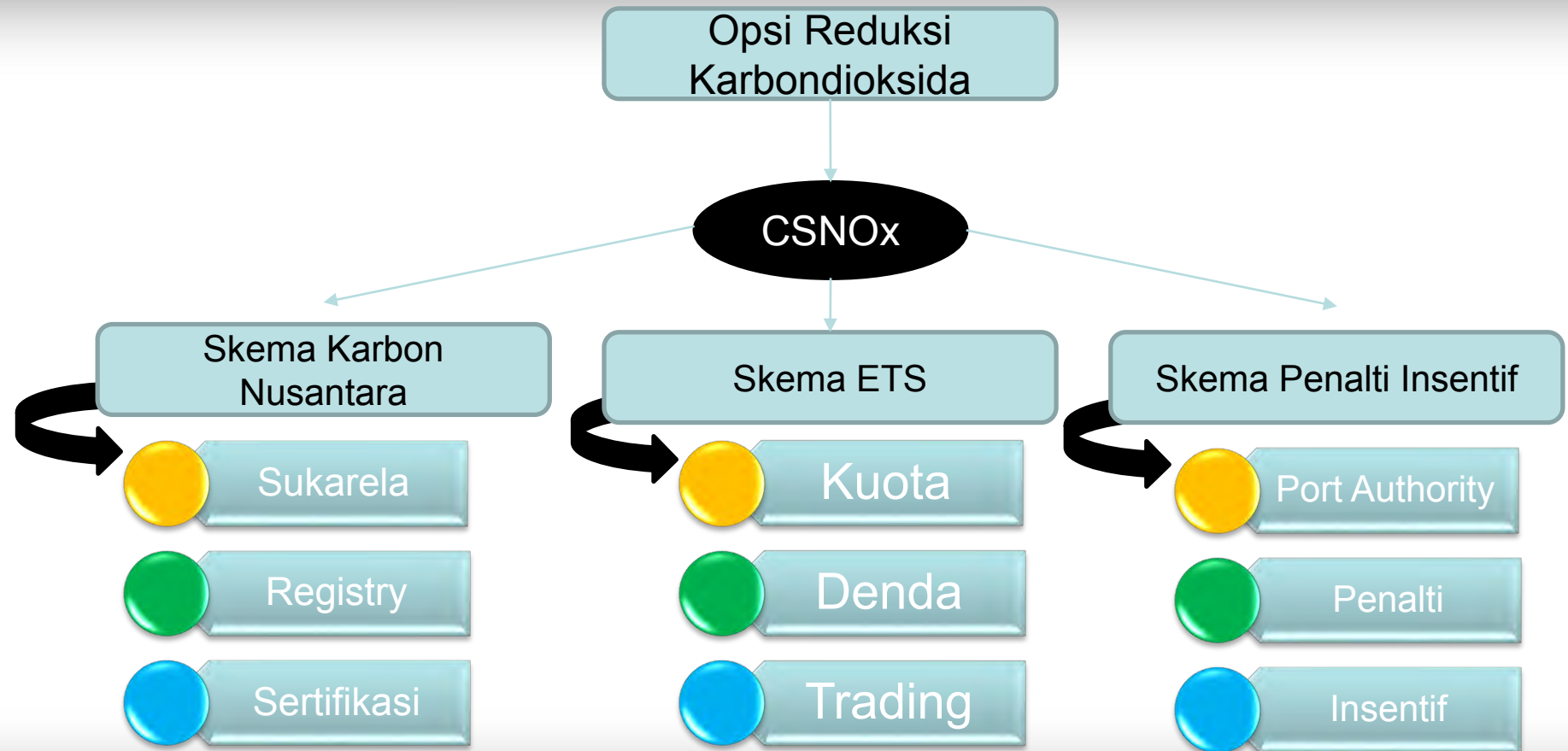
- Ujicoba dilakukan pada kapal Tanker 100.000DWT dari Singapore ke Timur Tengah dan telah diverifikasi hasilnya oleh *ABS(American Bureau*

Kapal Tanker 100.000 DWT

Main engine	11.000	kW
Investasi alat	300	Dollar/kW
1 Dollar	12.500	rupiah
Biaya Investasi	41.250.000.000	Rupiah
Biaya Operasional	1%	dari biaya BBM
Hasil Reduksi	CO2	77%
	SO2	99%
	Nox	66%



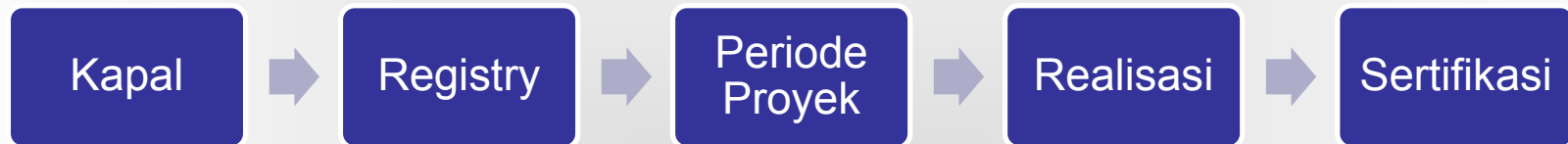
Madura Strait Green Initiative





Skema Karbon Nusantara

- Kapal Petikemas 5000 DWT dengan Power ME = 2.288 kW
- Biaya Investasi Alat = 2.288 kW x 300dollar/kW x Rp 12.500 = Rp 8.579.250.000,-



Kapal	5000 DWT	Tanpa Alat		Dengan Alat	
Jumlah ShipCall/tahun	30 kali	Tahun	Jumlah Emisi (ton)	Tahun	Jumlah Emisi (ton)
Biaya Investasi CSNOx	8.579.520.000 Rupiah	1	17,661	1	5,828
Umur ekonomis alat	20 tahun	2	17,661	2	5,828
Periode Proyek	5 tahun	3	17,661	3	5,828
Harga UKN atau CER	0,41 Euro	4	17,661	4	5,828
1 Euro	14.500 Rupiah	5	17,661	5	5,828
Setelah 5 Tahun			88,305		29,141
Potensi UKN	59 UKN				
Potensi Penjualan UKN	351.732 Rupiah				
Biaya Investasi CSNOx	2.144.880.000 Rupiah				



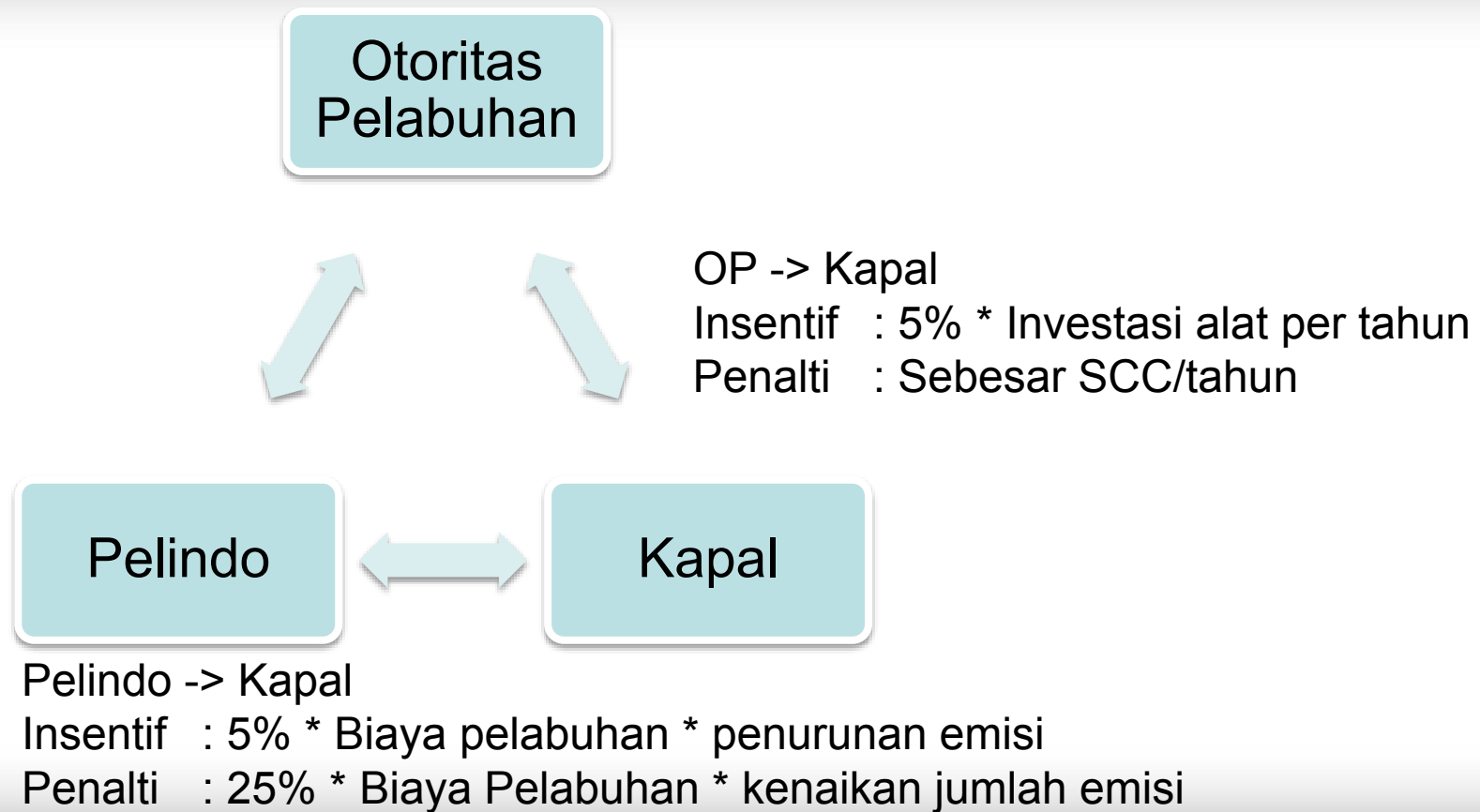
Skema ETS

Perhitungan dengan skema ETS

Kapal	5000	DWT	
Jumlah ShipCall/tahun	30	kali	
Biaya Investasi CSNOx	8.579.520.000	Rupiah	
Umur ekonomis alat	20	tahun	
Harga ETS California	13,10	\$	
1 \$	12.500	Rupiah	
Mandatory Emisi (50% dari eksisting)	8,83	ton	
Tanp Alat		Dengan Alat	
Emisi yang dihasilkan	17,661	Emisi yang dihasilkan	5,828
defisit	(8,83)	surplus	3,002
wajib beli	(1.445.994)	bisa jual	491.638
Setelah 20 Tahun	(28.919.888)	Setelah 20 tahun	9.832.762



Skema Penalti Insentif





Skema Penalti Insentif

Perhitungan dengan skema Penalti Insentif

Kapal Petikemas	5000 DWT	
Jalur Pelayaran Selat Madura		
Fungsi DWT vs konsumsi bbm	$y = 0,0001x - 0,1283$	
Fungsi DWT vs jumlah emisi	$y = 0,0002x - 0,4113$	
Biaya Emisi(per ton CO2) =	Rp	453.500
Biaya pelabuhan =	Rp	154.326.559
Biaya Investasi Alat =	Rp	8.579.250.000
Biaya BBM / ton	Rp	7.647.059
Kenaikan emisi =	1% per tahun	
Keuntungan alat = menurunkan emisi 77% dari emisi sebelumnya		



Skema Penalti Insentif

Kapal tanpa CSNOx system

Kapal A (tanpa alat CSNOx)						OTORITAS PELABUHAN			PELINDO	
Tahun	Ship Call /tahun	Emisi CO2 (ton)	Social Cost of Carbon	Biaya BBM	Biaya Pelabuhan	UKN	Penalti	Insentif	Penalti	Insentif
2015	30	17,66	8.009.264	85.272.353	4.629.796.770	0	-	0	0	0
2016	30	17,84	8.089.356	85.272.353	4.629.796.770	-0,2	8.009.264	0	204.417.102	0



Di akhir tahun ke-10

**Total Biaya- Total Intensif =
Rp 49.140.813.426**

Kekurangan UKN = 2 UKN



Skema Penalti Insentif

Kapal dengan CSNOx system

PT A (dengan alat CSNOx)								OTORITAS PELABUHAN			PELINDO	
Tahun	Ship Call /tahun	Emisi CO2 (ton)	Biaya Emisi CO2	Biaya BBM	Biaya Pelabuhan	Biaya Operasional Alat	Capital cost alat CSNOx	UKN	Penalti	Insentif	Penalti	Insentif
2015	30	17,66	8.009.264	85.272.353	4.629.796.770		8.579.250.000	0	-	0	0	0
2016	30	4,24	1.922.223	85.272.353	4.629.796.770	852.724	-	13,4	-	21.448.125	0	3.107.139.949



Di akhir tahun ke-10
 Total Biaya- Total Intensif
 = **Rp 52.437.442.667**

Surplus UKN = 13 UKN



KESIMPULAN

- **KESIMPULAN**

- Kenaikan jumlah emisi karbondioksida dari pergerakan kapal di Jalur Pelayaran Selat Madura 2009-2050 = 8.677 ton atau meningkat 20,4%.
- Kapal petikemas merupakan jenis kapal penyumbang emisi terbesar di Jalur Pelayaran Selat Madura dengan jumlah mencapai 12.000 ton CO₂ per tahun.
- Faktor penyebab kenaikan emisi meliputi :
 - Ukuran kapal yang datang semakin besar dari tahun ke tahun
 - Penurunan jumlah kapal tidak serta merta menurunkan jumlah emisi karena ukuran kapal besar berarti jumlah muatan lebih banyak sehingga waktu bongkar/muat lebih lama sehingga waktu operasional mesin bantu akan dominan menyumbang emisi
- Skema Karbon Nusantara merupakan program yang tepat untuk langkah *learning by doing* menuju pasar wajib perdagangan karbon



SARAN

- **SARAN**
 - Penelitian ini memberikan analisis berdasarkan teknis dan operasional, dari segi kebijakan dan ekonomis masih perlu penelitian lebih lanjut.



TERIMA KASIH